

寒冷地におけるアスファルト再生骨材の路盤材への適用に関する検討

安倍隆二¹・高橋守人²・早坂保則³

¹正会員 北海道開発局 開発土木研究所 道路部維持管理研究室 研究員（〒062-0931 札幌市豊平区平岸1条3丁目）

²正会員 北海道開発局 開発土木研究所 道路部維持管理研究室 室長（〒062-0931 札幌市豊平区平岸1条3丁目）

³正会員 北海道開発局 開発土木研究所 道路部維持管理研究室 主任研究員（〒062-0931 札幌市豊平区平岸1条3丁目）

本文では積雪寒冷地においてアスファルト再生骨材を路盤材・凍上抑制層に使用する場合のその適否についての検討を行なったものである。

この結果、積雪寒冷地においてアスファルト再生骨材を路盤として使用する場合、修正 CBR の規格を満足する混合率を決定し、凍上試験等により品質管理を十分に行えば路盤材料として使用できることが分かった。また、凍上抑制層に使用する場合には再生骨材を 100% 使用しても温度の影響をあまり受けず、支持力の低下もみられないため使用可能であることが明らかになった。

Key Words : *cold snowy regions, recycled asphalt concrete aggregate, subbase course material, frost heave*

1. はじめに

建設副産物の再生利用に関しては、資源の有効利用、環境の保全といった地球環境問題を視点とした高い社会的要請がある。平成 6 年 4 月にリサイクルプラン 21（建設副産物対策行動計画）¹⁾ が策定され、北海道における建設副産物の再利用率の目標については、アスファルトコンクリート塊 100%（平成 12 年の目標値）と定められた。リサイクルプラン 21 におけるアスファルトコンクリート塊の再利用方法としては、再生加熱アスファルト混合物、再生クラッシャーラン及び再生セメント安定処理路盤材料等として再利用を行い、建設副産物の搬出の抑制を図るために現場内利用や再生資源化施設に搬出して再生資源の積極的活用に努めることになっている。

平成 10 年度から北海道開発局では再生加熱アスファルト混合物については、試験施工の結果等より暫定品質基準（案）を策定し、従来までは基層以下に使用されていた混合物が表層にも使用できるようになった。一方、再生路盤材料の品質基準については「プラント再生舗装技術指針」に規格が示されているが、積雪寒冷地で問題となる凍上や凍結融解の影響については触れられていない。

また、既存の研究でもアスファルト再生骨材を利用し

た路盤材に関する凍上や凍結融解による影響についての研究はあまり見られない³⁾。

本文は、これらの問題に対処するため、アスファルト再生骨材（以下、再生骨材）を路盤材、凍上抑制層に利用した試験施工の結果を報告するものである。

2. 調査の背景

図-1 に北海道におけるアスファルトコンクリート塊の再利用状況を示す。北海道における再生資源化施設に堆積されているアスファルトコンクリート塊ストック量は、平成 11 年 3 月末現在 222 万トンになっている²⁾。再生骨材の使用量は年々増加しているが、再生資源化施設に搬入されるアスファルトコンクリート塊受入量についても増加傾向にあり、再生資源化施設にストックされているアスファルトコンクリート塊は増加傾向にある。

図-2 に全国と北海道におけるアスファルトコンクリート塊の再利用率を示す。北海道の再利用率は平成 2 年度については全国の再利用率を下回っていたが、平成 7 年度には全国の再利用率を上回っており、平成 2 年度以降積極的に再利用されていたことが分かる。

北海道ではアスファルトコンクリート塊が毎年大量

表-1 試験施工箇所

施工箇所	舗装厚 (cm)	路盤厚 (cm)	凍上抑制層厚	置換厚 (cm)	工区	路盤	凍上抑制層	適用箇所
一般国道337号 当別町	14	50	20	80	1	切込碎石(40mm)	砂	仮道(通過交通 量7,000台/ 12h)
					2	再生骨材(20%)	砂	
					3	切込碎石(40mm)	再生骨材(100%)	
一般国道5号 七飯町	8	40	25	70	1	切込碎石(40mm)	切込碎石(80mm)	チェーン着脱所
					2	再生骨材(67%)	切込碎石(80mm)	
					3	再生骨材(50%)	切込碎石(80mm)	
					4	切込碎石(40mm)	再生骨材(100%)	
一般国道236号 浦河町	8	40	35	80	1	切込砂利(40mm)	切込砂利(80mm)	チェーン着脱所
					2	切込砂利(40mm)	再生骨材(100%)	
					3	再生骨材(20%)	切込砂利(80mm)	
一般国道38号 富良野市	8	40	45	90	1	切込砂利(40mm)	切込砂利(80mm)	チェーン着脱所
					2	再生骨材(20%)	切込砂利(80mm)	
					3	切込砂利(40mm)	再生骨材(100%)	
一般国道242号 留辺蘂町	8	40	55	100	1	切込砂利(40mm)	火山灰	チェーン着脱所
					2	再生骨材(20%)	火山灰	
					3	切込砂利(40mm)	再生骨材(100%)	
一般国道241号 音更町	3	27	-	-	1	切込砂利(40mm)		歩道路盤
					2	再生骨材(67%)		
					3	再生骨材(50%)		

※比較工区は1工区

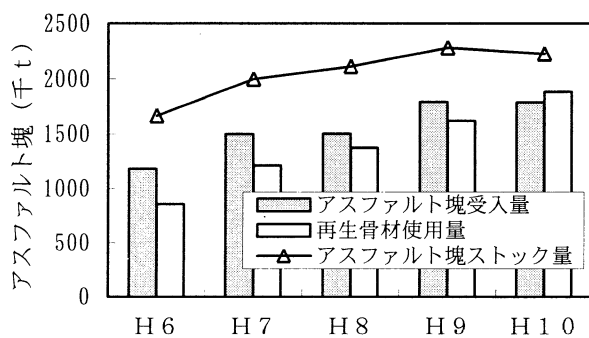


図-1 北海道におけるアスファルトコンクリート塊の再利用状況

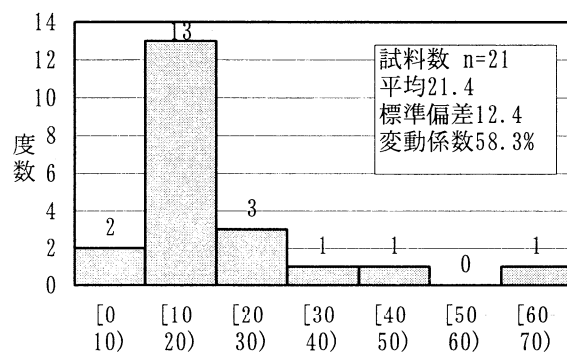


図-3 アスファルト再生骨材の修正CBR

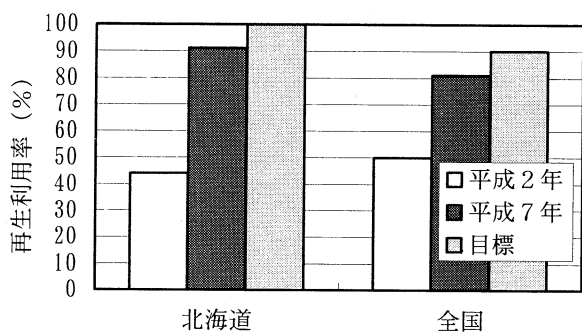


図-2 全国と北海道におけるアスファルトコンクリート塊の再利用率

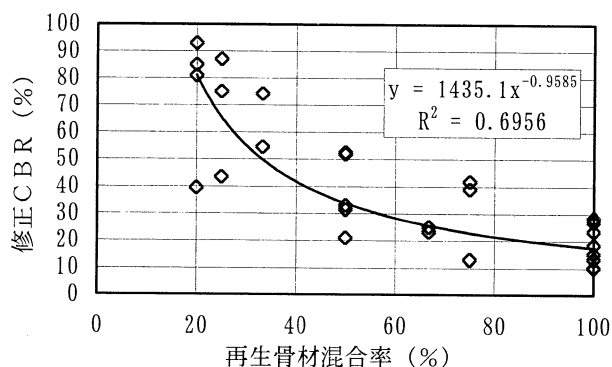


図-4 混合率と修正CBRの関係

に再生資源化施設に搬入されており、ストックヤードの確保や再生骨材の利用促進からも再生加熱アスファルト混合物以外の利用の検討が必要となっている。

3. 試験施工の概要と室内試験

(1) 試験施工の概要

表-1 に示す再生骨材の試験施工箇所(北海道内 6

箇所)は本線以外の実際供用部(歩道、仮道、チェーン着脱所)で実施した。凍上の影響を調査するため計測機器を埋設し、凍上量、凍結深及び路盤温度の計測を行った。仮道、チェーン着脱所では一般的に凍上抑制層は設けないが、理論最大凍結深さの約70%まで材料を置き換えて試験施工を実施した。試験施工の工区分けとしては、事前に再生骨材の修正CBR試験を実施して下層路盤については修正CBRが30%以上の場

表-2 アスファルト再生骨材の室内試験結果

試験項目		施工箇所	当別	七飯	浦河	富良野	留辺蘂	音更
液性限界 (%)			NP	21.5	23.1	23.4	NP	21.5
塑性限界 (%)			NP	NP	NP	16.9	NP	NP
塑性指数 (%)			NP	NP	NP	6.5	NP	NP
75 μ mふるい通過量 (%)			5.2	12.9	7.0	12.8	4.9	4.4
修正CBR (%)			10.1	15.2	13.3	28.4	10.3	18.4
凍上試験	凍上率 (%)		0.1	2.0	0.1	1.7	1.2	0.9
	凍結様式		1	1	2	4	1	1
	判定		合格	合格	要注意	不合格	合格	合格
	CBR保存率 (%)		102.6	82.9	97.1	71.2	86.7	85.8
	凍結融解後の修正CBR (%)		10.4	12.6	12.9	20.2	8.9	15.8

※凍上試験は日本道路公団試験法による。

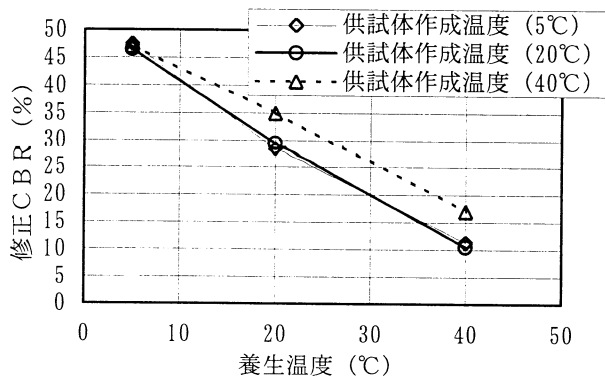


図-5 供試体作成温度と養生温度の関係

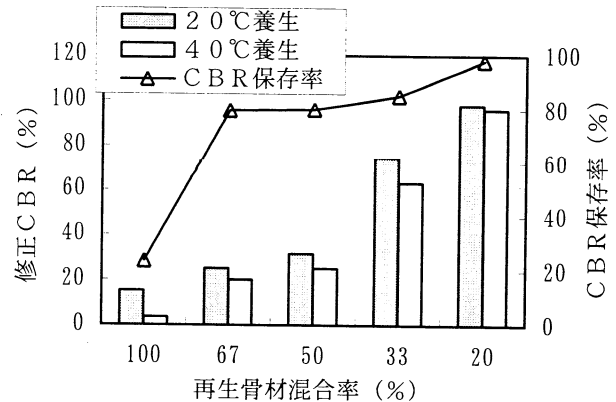


図-6 再生骨材の温度依存性（七飯工区）

合は再生骨材混合率を50%、67%の工区とし、30%以下の場合には再生骨材混合率20%として試験工区を設定した。また、凍上抑制層に使用する再生骨材の混合率は100%とした。再生骨材100%で凍上抑制層に使用したのは、凍上抑制層には修正CBRの規格がないことや再生骨材の利用促進を図るためである。再生骨材の粒度、細粒分の規定については「北海道開発局 道路・河川工事仕様書」（以下、仕様書）の40mm級切込砕石の規定に準拠した材料を使用した。

(2) 再生骨材の基本性状

試験施工で使用した再生骨材の室内試験結果を表-2に示す。図-3、4、9は（社）北海道舗装事業協会が実施した再生骨材の試験データも含めた図となっている。

一般骨材の場合は骨材間のかみ合わせにより強度を確保するが、再生骨材については付着しているアスファルトモルタル分の影響から骨材のかみ合わせ効果はあまり期待出来ない。そのため図-3に示す再生骨材100%の材料の修正CBRは平均20程度となっており、路盤材としては強度不足となる。したがって、路盤材として使用する場合は一般骨材を混合しなければ、仕様書の規格を満足することは出来ない。そこで、再生

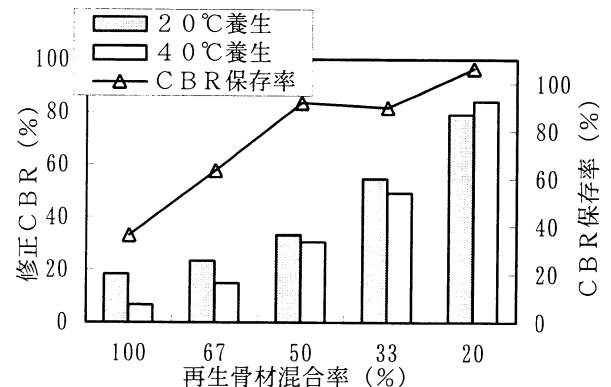


図-7 再生骨材の温度依存性（音更工区）

骨材の混合率と修正CBRの関係を求めた。図-4に関係を示すが、再生骨材の混合率の増加に伴い強度は低下し、おおむね再生骨材混合率50%以下の比率で混合すれば修正CBRを確保できる。また、混合材料により修正CBRが異なるため、各現場で混合率を決定することになるが、安全側を考慮すれば再生骨材混合率30%程度以下が混合範囲と考えられる。

また、再生骨材はアスファルトモルタル分に皮膜されている影響から温度が上昇するとアスファルトモルタル分が柔らかくなるため強度の低下が懸念される。図-5に再生骨材100%の修正CBRと養生温度の関係を示す。使用した再生骨材は当別工区で使用したプ

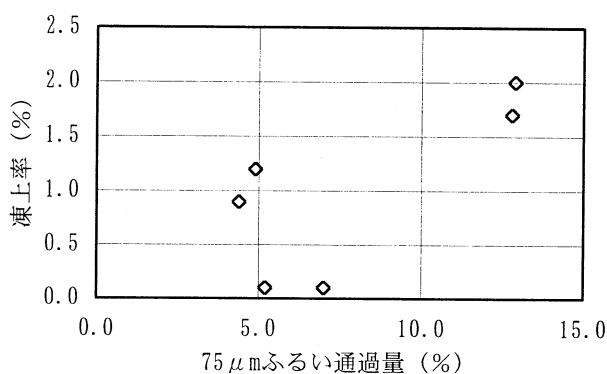


図-8 凍上率と75 μ mふるい通過量の関係 (AS100%)

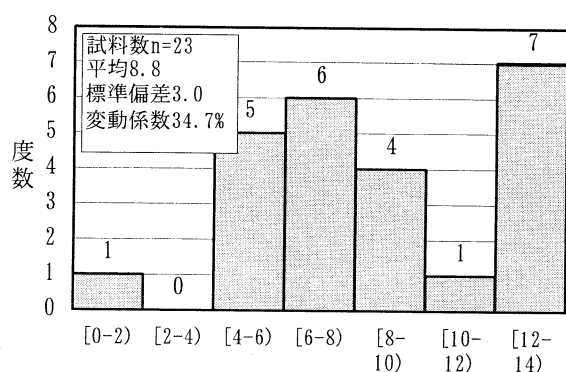


図-9 75 μ mふるい通過量 (As100%)

ラントから採取したものであるが、採取時期が異なる材料を使用した。供試体作成温度が異なるのは、5℃は寒冷期、40℃は夏期を想定した転圧条件である。供試体作成温度の違いとしては40℃で作成したものは、他の条件より修正CBRの数値が大きくなっている。原因としてはアスファルトモルタル分が柔らかいので、突き固めにより密度が高くなったため数値が大きくなったと考えられる。また、養生温度による修正CBRの低下傾向は突き固め条件に拘わらず同じ傾向を示し、供試体作成温度20℃の例では養生温度20℃と40℃の条件のCBR保存率は35.6%となり路盤温度上昇による強度の低下が懸念される。

次に、再生骨材混合率を変化させた温度の依存性について試験を行った結果を図-6、7に示す。音更、七飯工区の材料を用いて試験を行い、20℃と40℃に96時間水中養生させた条件で混合率を変えて試験を行った。再生骨材100%の材料のCBR保存率は23.7%（七飯工区）・36.4%（音更工区）に低下するが、混合率が50%以下になると養生温度による強度の低下が小さく、保存率も80%程度確保され、再生骨材混合率50%以下の材料は温度による影響は少ないと考えられる。

(3) 凍上性について

再生骨材100%の凍上試験の結果では、6工区中5工区が合格・要注意、1工区については氷晶が生じて不合格となった。原因としては、細粒分（本文では75 μ m

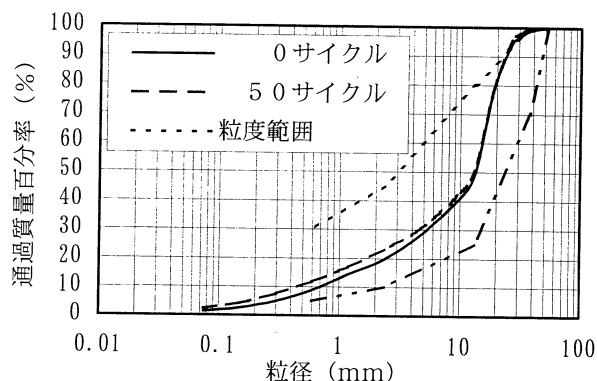


図-10 ふり分け試験結果 (富良野As100%)

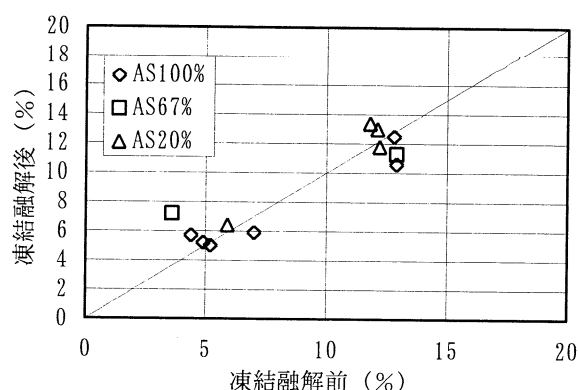


図-11 凍結融解前後の75 μ mふるい通過量

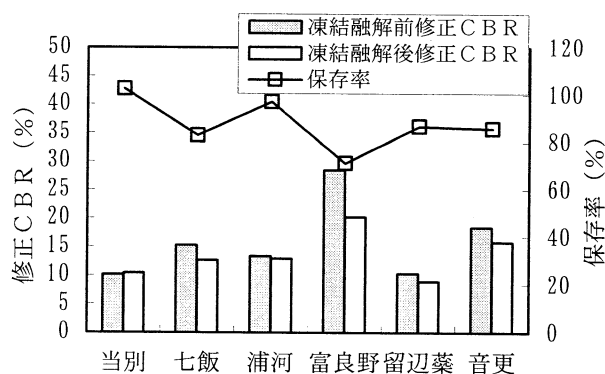


図-12 凍結融解前後の修正CBR

mふるい通過量を細粒分と定義した)が規格値(15% : 75 μ mふるい通過量が4.75mmふるいの通過量に対して15%以下)を満足しているが、他の工区の塑性指数はNPであり、富良野工区の塑性指数(P I)が6.5の数値を示していることから細粒分の影響により不合格になったと考えられる。図-8に凍上率と75 μ mふるい通過量の関係を示すが、凍上試験における凍上率については細粒分が多くなると凍上率が大きくなる傾向にある。また、舗装事業協会のデータも含めた再生骨材100%の75 μ mふるい通過量の結果を図-9に示すが全て15%以下であり、塑性指数については23試料中22試料がNPとなった。しかしながら、75 μ mふるい通過量が12~14%の試料も多く、凍上性の材料として

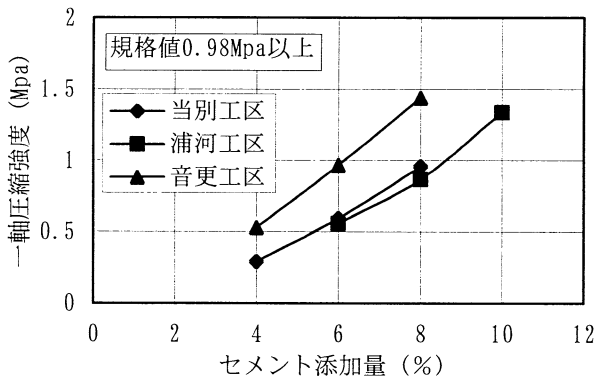


図-13 セメント添加量と一軸圧縮強度の関係

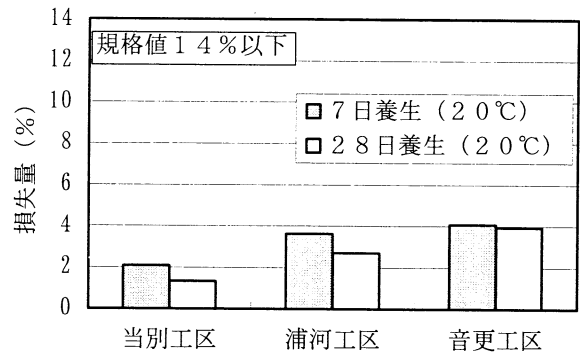


図-15 凍結融解試験による損失量変化

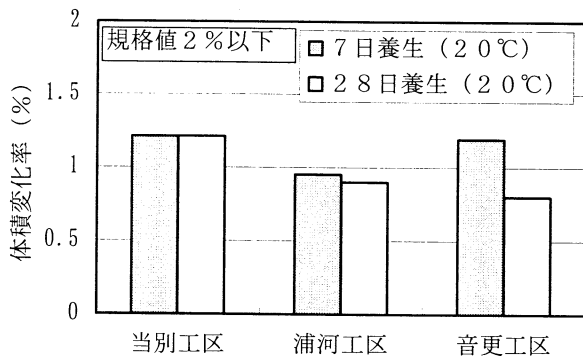


図-14 凍結融解試験による体積変化率

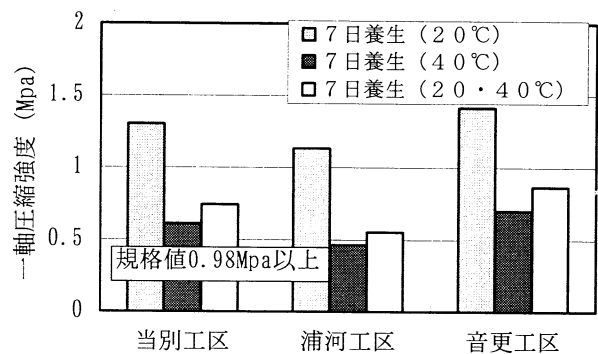


図-16 セメント安定処理路盤の温度依存性

の懸念があるため、実際に使用する場合は細粒分の多い材料は凍上率が高い傾向にあるので凍上試験で確認してからの使用が望ましいと考えられる。

(4) 凍結融解の影響について

再生骨材の 50 サイクル凍結融解後のふるい分け試験結果が各工区同じ傾向にあるので代表事例を図-10 に示す。再生骨材は凍結融解をしても殆ど細粒化しない傾向にあり、細粒分に着目した凍結融解前後の細粒分の関係を図-11 に示すが、細粒分の増加はみられない。また、図-12 に凍結融解後の修正 CBR を示すが強度の低下は最低値でも 71.2% の保存率であり、過去の調査で実施した粗粒材の保存率と同程度である⁴⁾。以上の結果から、再生骨材は凍結融解による骨材の耐久性に問題はないと考えられる。

一般的に骨材の凍結融解による耐久性については安定性試験で判断するが、安定性試験では硫酸ナトリウム溶液に水浸して 100~110℃ で乾燥させる作業を 5 回繰り返すが、再生骨材の場合は熱により骨材が変形し、粒度も変わり骨材の評価ができないため試験は実施していない。

(5) 再生セメント安定処理路盤材料の室内試験

再生骨材を下層路盤材料として利用する場合、強度

を確保するため一般骨材を混合する方法と安定処理混合物として利用する 2 ケースが考えられる。室内試験では再生骨材 100% (当別・浦河・音更の 3 工区) とポルトランドセメントを用いたセメント安定処理路盤材料を作成して試験を行った。配合を決定するために各工区 3 種類の配合を設定してセメント安定処理混合物の一軸圧縮試験を行い、最適セメント量を決定した。最適セメント量を図-13 に示すが当別、浦河工区 9%、音更工区 7% となり、再生骨材の修正 CBR の小さな工区はセメント量が多くなった。

セメント安定処理路盤材料の凍結融解による抵抗性を確認するために安定処理混合物の凍結融解試験方法 (舗装試験法便覧) により試験を行った。この試験方法は凍結融解のサイクルを 12 回行い、体積変化率 (%) と損失量 (%) で判定する試験である。図-14, 15 に凍結融解後の体積変化率、損失量を示す。一般的には 7 日強度で確認するが参考値として 28 日強度でも確認した。各工区のセメント安定処理路盤は規格値内にあり、凍結融解の抵抗性は問題ないと判断できる。

次に、セメント安定処理路盤の温度依存性を確認するために養生温度を 20, 40℃ の条件のもと、一軸圧縮試験で 7 日強度 (室内養生 6 日, 1 日水浸) と養生条件を変えた 7 日強度 {室内養生 6 日 (20℃), 1 日水浸 (40℃)} を確認した結果を図-16 に示す。

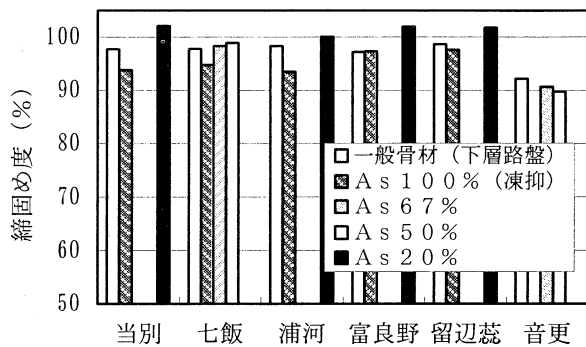


図-17 締固め度（アスファルト再生骨材）

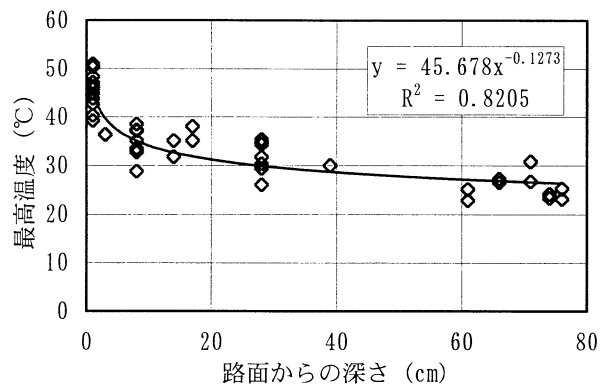


図-18 路盤の最高温度と路面からの深さの関係

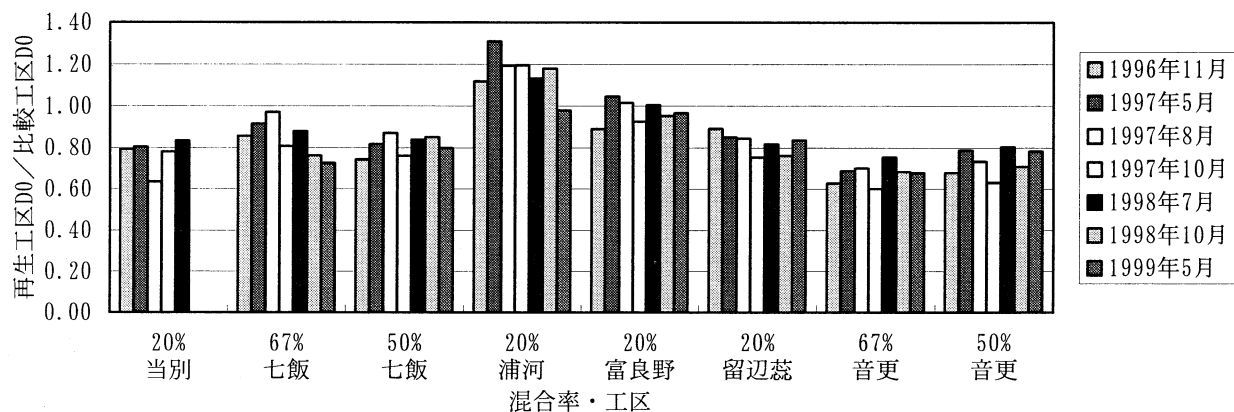


図-19 FWD調査（下層路盤）

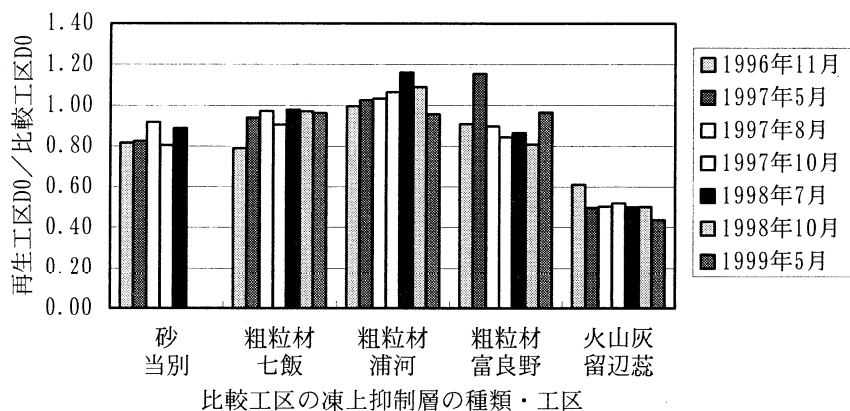


図-20 FWD試験（凍上抑制層）

40℃養生（室内養生 6 日，1 日水浸）の供試体の 7 日強度については基準の 0.98(Mpa) 以上を確保できなかった．原因としてはアスファルトモルタル分の強度低下とセメント分の強度発現が遅れた影響と考えられる．また，室内養生 6 日（20℃）+1 日水浸（40℃）の条件でも規格値以下であることはアスファルトモルタル分の強度低下と考えられる．以上の結果から，セメント安定処理路盤材料として使用する場合，路盤温度が 40℃以上になる箇所においては再生骨材 100%のセメント安定処理路盤材料の適用は難しいと考えられる．

4. 試験施工

(1) 締固め度・施工性

路盤材料の混合方法については建設現場で使用しているバックホーのバケットを用い混合した．目視確認では再生骨材を混合した路盤材料は均一な混合状態となっていた．転圧方法は比較工区と同じ転圧回数で施工を行い，図-17 に締固め度を示すが規格値（車道 95%，歩道 85%，凍上抑制層 90%以上）は確保された．

(2) 路盤温度

路面・路盤の最高温度と路面からの深さの関係を図

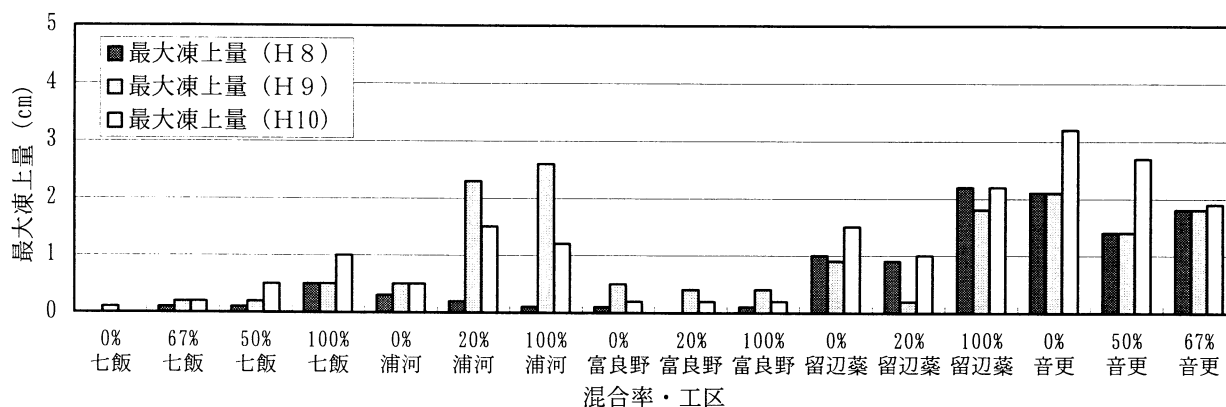


図-21 凍上量調査

ー18に示す。平成9, 10年の夏期(7~8月)における各工区の最高温度を示しているが、最高温度は1時間毎データの上位5%の平均値を示したものである。路盤上面、路盤中間部の路盤最高温度は40℃程度を示しているが、凍上抑制層は路面から深いため25~30℃程度であり、外気温の影響は少ない。

(3) FWD試験

路盤の支持力についてはFWDによるたわみ量測定方法(舗装試験法便覧 別冊)により評価した。D₀たわみ量(載荷面直下位置)は荷重補正を行い、(再生工区D₀たわみ量) / (比較工区D₀たわみ量)の比率を求めて再生骨材の支持力の評価を行った。

下層路盤に再生骨材を使用した工区における施工時、融解期、施工1年後及び2年後の再生骨材の支持力を図-19に示すが、おおむね1.0を下回り一般骨材と同等程度の支持力があることが確認された。室内試験では再生骨材混合率の高い材料の支持力の低下が確認されたため、混合率が高い工区の支持力低下が懸念された。しかしながら、七飯・音更工区については外気温の影響がややみられるが、比較工区より強度は大きい結果となった。

次に、凍上抑制層に用いた再生骨材の支持力の経年変化を図-20に示す。凍上抑制層に使用している材料が異なるため凍上抑制層の種類とFWD試験結果を示すが、施工時、融解期、施工1年後及び2年後の支持力は比較工区と比べて支持力の低下はみられない。留辺蘂工区の比率が0.5程度を示しているのは、比較工区の凍上抑制層が火山灰を使用しており、他の工区は砂、粗粒材を使用しているからである。室内試験では40℃養生の修正CBR値が30%程度に低下したが凍上抑制層の最高温度が25~30℃程度で推移している条件では、夏期における凍上抑制層の支持力低下はみられない。また、凍上抑制層材料として使用した再生骨材100%のD₀たわみ量は粗粒材と同程度を確保している。

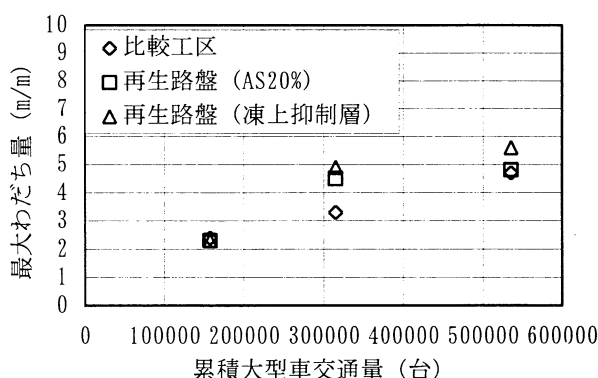


図-22 再生路盤の供用性(当別工区)

(4) 凍上量調査

平成8, 9年度の各工区の最大凍上量を図-21示す。凍上量はレベルを使用し測定した。評価については凍上による路面性状、クラックの状態から判断した。凍上量調査は12月~3月まで2週間間隔で測定を行った。各工区とも2月頃に最大の凍上量を示している。各工区の最大凍上量は地区によってばらつきもみられるが再生骨材使用箇所における凍上によるクラック等の損傷もみられず、路面状態は良好である。

(5) 供用後の路面状況

各工区ともクラック等の損傷は生じていなく、路面状態も良好である。一般車両が常に走行している当別工区の累積大型車交通量と最大わだち量の関係を図-22に示す。比較工区と比べても路盤材に使用した再生骨材20%、凍上抑制層に使用した再生骨材100%の工区とも路面性状に差異はみられない。

5. まとめ

(1) 室内試験

a) 再生骨材の特徴は、修正CBRが20程度であり、

一般骨材を混合しなければ下層路盤の規格値を確保できない。混合率については修正CBRのバラツキがあるため、基本的には現場で混合率を決定することになるが、安全側を考慮すれば再生骨材の混合率は30%以下が望ましい。また、再生骨材は温度の依存性があり、温度が上昇するにともない修正CBRの低下が見られるが再生骨材の混合率が50%以下であれば温度の依存性は少ない。

- b) 再生骨材の凍上試験では6工区中5工区で合格・要注意、1工区が不合格となった。1工区については細粒分の影響と考えられる。再生骨材は細粒分の増加に伴い、凍上率が増加する傾向がみられるため、使用の場合は凍上試験により品質を確認してからの使用が望ましい。
- c) 凍結融解後にふるい分け試験をおこなった結果、細粒化の傾向は少なく、凍上に影響を与える細粒分の増加も少ない。また、凍結融解後の保存率の最低値は70%程度であり、粗粒材と同等程度と考えられる。
- d) 再生セメント安定処理混合物を下層路盤に使用する場合は凍結融解による抵抗性は高いが、路盤温度が40℃以上になる箇所では温度の影響を受け強度が不足するため再生混合率100%のセメント安定処理路盤材料の適用は難しいと考えられる。

(2) 試験施工

- a) FWD試験による施工時、融解期、施工1年後および2年後の支持力については、再生骨材を下層路盤、凍上抑制層に使用した工区では、一般骨材使用の工区と比較し、ほぼ同等程度の支持力があると考えられる。
- b) 各工区の最大凍上量は地区によってばらつきもみられるが、再生骨材使用箇所における凍上によるクラック等の損傷もみられず、路面状態は良好である。

- c) 夏期にFWD試験を行ったが、温度の影響による支持力の低下はなく、比較的高温下においても支持力は確保されている。

以上の結果から判断するとアスファルト再生骨材を路盤材に使用する場合、混合率や凍上試験により品質管理を十分に行えば、路盤材として使用できるものと考えられる。また、凍上抑制層に使用の場合は再生骨材100%で使用しても温度の影響をあまり受けないため使用可能と考えられる。

6. おわりに

試験施工・室内試験結果からアスファルト再生骨材を利用した路盤材・凍上抑制層は積雪寒冷地で使用しても品質管理を十分に行えば使用が可能であることが明らかになった。

北海道ではアスファルトコンクリート塊のストック量が年々増加しており、ストックヤードの確保や建設副産物の有効利用の観点からもアスファルト再生骨材を再生加熱アスファルト混合物、再生路盤材等に積極的に活用する必要がある。

参考文献

- 1) 建設省：建設業と建設副産物対応，pp92，1998.9
- 2) (社)：北海道舗装事業協会：アスファルト塊再生利用実績一覧表（1994～1998）
- 3) 佐藤勝久，伊藤 匠，中川悟史：アスファルトを含む舗装廃材の路盤材としての再利用に関する検討，第7回北陸道路舗装会議，pp149～152，1997.6
- 4) 北海道開発局：道路工事設計基準の解説と運用，pp84，1985.8

THE STUDY OF RECYCLED ASPHALT CONCRETE AGGREGATE AS SUBBASE COURSE MATERIAL IN COLD REGIONS

Ryuji ABE, Morito TAKAHASHI and Yasunori HAYASAKA

We studied the suitability of recycled asphalt concrete aggregate as subbase course material and frost blanket material in cold regions. We found that such material can be used as subbase course material if quality is carefully controlled through frost-heave tests and if the mixing ratio satisfies modified CBR standards. When such material was used in the frost blanket at a rate of 100%, temperature effects were not observed and bearing capacity did not decrease, thus confirming its suitability for use in the frost blanket